

Studi Eksperimen Karakteristik Getaran Dan Energi Bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber Double Port* Dengan Rasio *Cylinder 40:30* Akibat Variasi Pembebanan Listrik

Adityo Putranto dan Harus Laksana Guntur

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: dito@indonesianengineer.org

Abstrak- Peningkatan trendline kendaraan khususnya roda empat yang menggunakan bahan bakar fosil berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil yang ada di Indonesia, selain itu menurut penelitian *Center for Energy, Transportation, and the Environment (CETE)*, kendaraan bermotor hanya menyalurkan 16% dari tenaga bahan bakar yang digunakan. Sisanya sebesar 65% terbuang sebagai panas dan getaran. Salah satu cara meningkatkan efisiensi adalah dengan memanfaatkan energi yang terbuang dan mengubahnya menjadi energi listrik yang bermanfaat melalui konsep *Regenerative Shock Absorber (RSA)*. Pada penelitian ini, dilakukan studi eksperimen karakteristik getaran dan energi bangkitan *hydraulic electro mechanic shock absorber double port* dengan rasio diameter cylinder 40mm:30mm akibat variasi pembebanan listrik. Pengujian dilakukan secara statis dan dinamis akibat pembebanan listrik. Pengujian secara statis bertujuan untuk mengetahui nilai gaya redaman total serta distribusi nilai gaya redaman *viscose damping, friction damping*, dan *electrical damping* akibat variasi pembebanan listrik. Sedangkan pengujian dinamis dilakukan untuk mengetahui analisa daya bangkitan dan respon masa terhadap variasi pembebanan listrik. Pengukuran dan perhitungan dilakukan dengan menggunakan *quarter car suspension test rig* yang akan diukur dengan menggunakan stopwatch, oscilloscope, dan accelerometer. Mekanisme yang digunakan adalah memasang *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)* ini pada alat tersebut kemudian diberikan beban listrik yang bervariasi. Dari penelitian ini didapatkan nilai konstanta redaman HEMSA tanpa pembebanan sebesar 58264,4 Ns/m, sedangkan nilai konstanta redaman HEMSA pembebanan 83, 125, dan 250 Ohm berturut-turut sebesar 8146,75 Ns/m, 7586,4 Ns/m, dan 6428,7 Ns/m. 8. Nilai efisiensi HEMSA pada frekuensi 1,4Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 1,88%, 2,23%, dan 1,94%. Kemudian pada frekuensi 1,7Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 2,74%, 2,23%, dan 2,14%. Selanjutnya pada frekuensi 2,2Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 3,39%, 2,91%, dan 2,57%.

Kata Kunci: *Regenerative shock absorber, Hydraulic, gaya redaman, HEMSA, beban listrik.*

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN industri otomotif di Indonesia saat ini meningkat dengan pesat. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil, dimana jumlah kendaraan bermotor semakin banyak sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun. Menurut *Center for Energy, Transportation and the Environment (CETE)*, yaitu sebuah program penelitian yang diterapkan oleh University of Tennessee Chattanooga, untuk mengembangkan dan menyebarkan teknologi maju yang memanfaatkan sumber yang bersih dan aman energi, menyatakan bahwa kendaraan bermotor hanya efektif

menggunakan 16% tenaga bahan bakar dari hasil pembakaran yang digunakan. Sisanya sebesar 62% menjadi *engine losses* sebagai panas dan getaran, 11% *engine idling*, 6% *transmission losses*, serta 2% dari penambahan aksesoris seperti *Air Conditioner (AC)*, wiper, dll^[1]. Sehingga, tuntutan untuk membuat kendaraan bermotor yang hemat energi dan ramah lingkungan merupakan tantangan dan kewajiban. Salah satu solusi untuk memenuhi tuntutan tersebut ialah dengan mencari, membuat, dan mengembangkan sumber energi alternatif.

Salah satu sumber energi alternatif yang dikembangkan dalam kendaraan adalah VEH (*Vibration Energy Harvesting*) yaitu alat pemanen energi yang memanfaatkan getaran kendaraan pada sistem suspensi. Salah satu alat yang dibuat yaitu *Regenerative Shock Absorber (RSA)*, yang memanfaatkan gerak relatif antara sistem suspensi dengan bodi kendaraan untuk menghasilkan energi listrik. Telah banyak dikembangkan penelitian RSA, baik oleh ilmuwan maupun instansi pendidikan. Berdasarkan penelitian terdahulu, di ITS telah dikembangkan VEH (*Vibration Energy Harvesting*). Pada penelitian ini, alat ini memanfaatkan gerak translasi pada sistem suspensi berupa *cylinder hydraulic*, yang akan mendistribusikan aliran fluida ke *cylinder hydraulic* lainnya sebagai aktuator. Gerak translasi aktuator akan dikonversi menjadi gerak rotasi dengan menggunakan mekanisme *rack and pinion gear*, kemudian gerak rotasi diteruskan oleh *gearbox* yang di dalamnya terdapat *bevel gear* dan menggunakan *one-way bearing* untuk membuat putaran yang searah, kemudian dihubungkan ke generator melalui induksi elektromagnetik sehingga menghasilkan energi listrik berupa tegangan.

Berdasarkan uraian diatas dalam Tugas Akhir ini fokus ke studi eksperimen karakteristik hasil pengembangan mekanisme dan desain *Regenerative Shock Absorber* sehingga hasil yang diharapkan suspensi yang di desain dapat berjalan mendekati karakteristik pada aslinya serta menghasilkan energi yang lebih besar untuk mengurangi krisis energi di Indonesia

II. URAIAN PENELITIAN

Pada Tugas akhir ini tahapan-tahapan yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

A. Studi Literatur dan Survei Alat Uji

Pada tahap studi literatur penulis melakukan kajian dan mengambil beberapa teori penunjang dari buku-buku, artikel, jurnal ilmiah dan tugas akhir terdahulu. Teori mengenai shock absorber dan pemanfaatan energi pada suspensi kendaraan, baik itu kelebihan atau kelemahan sehingga diharapkan dapat menambah wawasan dalam

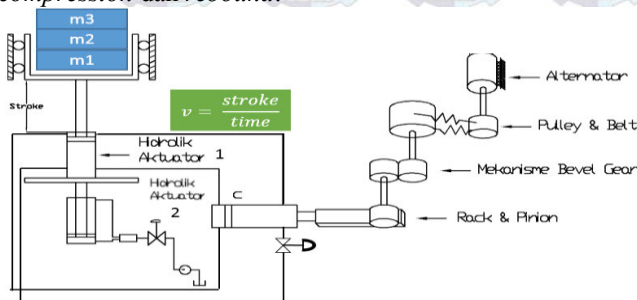
mengerjakan laporan serta membantu dalam menganalisa dan membahas hasil pengujian pada tugas akhir ini.

B. Persiapan Pengujian Survei Alat Uji

Tahap persiapan pengujian yaitu berupa penyiapan alat uji, pemasangan Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA) pada alat uji, set up alat uji untuk setiap jenis pengujian. Saat diuji dinamis, variabel tetapnya adalah massa kendaraan, konstanta pegas, viskositas oli hydraulic. Sedangkan variable yang dirubah adalah variasi nilai beban lampu yaitu 83 ohm, 125 ohm, dan 250 ohm. Untuk spesifikasi hydraulic adalah untuk hydraulic 1 dimana $\phi_1 = 40\text{mm}$, $\phi_{rod\ 1} = 25\text{mm}$, $L_{Stroke\ max\ 1} = 100\text{mm}$ dan untuk hydraulic aktuator 2 dimana $\phi_2 = 30\text{mm}$, $\phi_{rod\ 2} = 18\text{mm}$, $L_{Stroke\ max\ 1} = 320\text{mm}$

C. Penentuan Konstanta Redaman Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber

Penentuan konstanta redaman Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA) adalah dengan pengujian gaya redaman. Pada kasus ini, pengujian gaya redaman yang dilakukan adalah uji statis (metode pembebanan). Dengan menggunakan pendekatan hukum ketiga Newton, yaitu dengan memberikan massa uji kepada HEMSA (hydraulic aktuator 1 sebagai absorber) pada quarter car suspension test rig, diasumsikan dimana nilai gaya redaman HEMSA akan sama dengan gaya berat dari massa uji yang diberikan. Pada pengujian ini hanya dilakukan untuk mengetahui kecepatan turun hydraulic aktuator 1 saat compression dan rebound.



Gambar 1 Skema Uji Statis

Pada uji statis ini terbagi empat macam pengujian, yaitu pengujian viscous damping (hydraulic), viscous+friction damping (hydraulic+mechanic), viscous+friction+electric damping (hydraulic+mechanic+electromagnetic), viscous+friction+electric damping tanpa beban, dan viscous+friction+electric damping dengan beban akumulator. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai distribusi konstanta redaman terhadap pengaruh pembebanan dan komponen HEMSA (viscous, friction, electric damping). Hasil pengujian ditampilkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan. Dari grafik tersebut, kemudian dilakukan perhitungan dari trendline distribusi gaya redaman fungsi kecepatan untuk mendapatkan nilai redaman (c).

D. Pengujian Konstanta Pegas

Pengujian koefisien dilakukan dengan memberikan massa penekanan pada spring kemudian dicatat perubahan panjang pada spring (Δx). Dari data yang diperoleh akan dihitung nilai koefisien spring (k) sesuai dengan Hukum Hooke, yaitu $F = k \cdot \Delta x$.

E. Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA Akibat Eksitasi Impuls dan Periodik

Pada tahapan pengujian mekanisme ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suspensi ketika mendapat berbagai macam gaya eksitasi dan amplitudo terhadap energi. Dari pengujian ini akan didapatkan respon massa, voltase, dan daya pada masing-masing pengujian.

- Eksitasi Impuls
- Eksitasi Periodik

Pada pengujian Eksitasi ini, massa uji yang diberikan adalah $\frac{1}{4}$ massa kendaraan sebenarnya, yaitu 250 kg (city car). Terdapat amplitudo pada pengujian yaitu $A = 2$ cm. Pada amplitudo tersebut terdapat kecepatan eksitasi yang bervariasi. Frekuensi eksitasi yang diberikan yaitu: 1.4 Hz, 1.7 Hz, dan 2,2 Hz. Menganalisa respon massa uji (sprung mass) dan landasan (base exciter) akibat dari eksitasi yang diberikan dan membuat grafik daya bangkitan fungsi frekuensi dari suspensi tersebut.

F. Pengolahan Data Pengujian

Data yang diperoleh dari hasil pengujian diolah sehingga hasil pengujian ditunjukkan dalam grafik gaya redaman fungsi kecepatan, energi yang dibangkitkan, dan grafik respon massa terhadap eksitasi yang diberikan.

G. Peralatan yang digunakan

- HEMSA (hydraulic electro mechanic shock absorber)

Tabel 1 Spesifikasi HEMSA dua selang compression satu rebound

Parameter	Nilai
Diameter dalam cylinder hydraulic 1 (absorber)	40 mm
Diameter dalam cylinder hydraulic 2 (aktuator)	30 mm
Diameter rod absorber	25 mm
Diameter rod aktuator	18 mm
Jenis fluida	SAE 10W
Diameter dalam selang	9,525mm (3/8 inch)

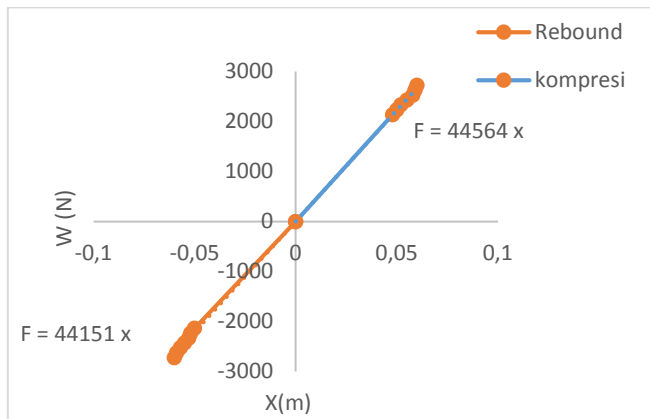
- Suspension test rig
- Oscilloscope
- Akumulator
- Jangka Sorong
- Stopwatch
- Akselerometer
- Multimeter

III. HASIL DAN ANALISA

A. Penentuan Konstanta Pegas

Pada Proses pengambilan data konstanta pegas ini dilakukan di LAB Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin ITS. Adapun prinsip kerja dari pengambilan data tersebut adalah dengan memasang pegas pada alat uji Suspension test rig terlebih dahulu, kemudian diberikan gaya dalam bentuk beban (W) di atas pegas. Setelah itu, diukur perubahan panjang (Δx) pada pegas tersebut.

Pengambilan data konstanta pegas dilakukan berdasarkan range $\frac{1}{4}$ massa kendaraan, yaitu ± 250 kg. Berikut adalah data hasil pengujian konstanta pegas.



Gambar 2 Grafik Konstanta pegas

Dari grafik 4.2 pengujian konstanta pegas HEMSA diatas, dapat kita lihat bahwa dengan beban sebesar 2137.6 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.05 m, sedangkan pada beban sebesar 2431.9 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.055 m.

Dari grafik dan tabel tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin tinggi beban yang digunakan maka semakin tinggi pula perubahan panjang yang dihasilkan pada pegas tersebut. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat grafik pada gambar 4.2 di atas bahwa garis hampir terlihat lurus atau mendekati linier. Sehingga pemilihan nilai konstanta pegas HEMSA pada pengujian mekanisme suspensi yang dilakukan di laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi dipilih berdasarkan dimensi pegas yang tersedia dan dapat dipasang dengan Absorber hasil rancangan (HEMSA). Sehingga dapat diuji pada suspension tes rig (simulasi 1/4 kendaraan).

Jadi dari pengujian nilai konstanta pegas, yang merupakan nilai rata-rata trendline konstanta pegas saat kompresi dan rebound, didapat nilai K sebesar 44357.5 N/m

B. Penentuan Konstanta Redaman

Penentuan konstanta redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) adalah dengan pengujian gaya redaman. Pengujian gaya redaman yang dilakukan yaitu, gaya redaman HEMSA tanpa pembebanan dan gaya redaman HEMSA dengan pembebanan listrik. Proses pengujiannya dilakukan di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada quarter car suspension test rig.

Metode pengujian gaya redaman yang dilakukan adalah metode pembebanan (uji statis). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan turun absorber saat kompresi dan rebound. Dari kecepatan dan berat massa dapat diperoleh nilai konstanta redaman, dari persamaan $F_d = c \dot{V}$.

a. Penentuan Konstanta HEMSA tanpa Pembebanan

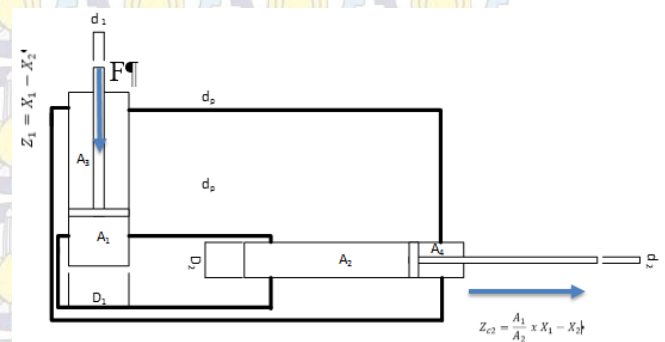
- Konstanta Redaman *Hydraulic* (viscous damping)

Pada pengujian redaman *viscouse damping* dilakukan untuk mengetahui nilai konstanta redaman dari salah satu komponen HEMSA yaitu *Hydraulic*.

Prinsip kerja dari komponen hydraulic pada HEMSA ini adalah sebagai peredam sekaligus pendorong mekanisme gearbox, meliputi *rack pinion*, *bevel gear*, *pulley* dan *belt*. Mekanisme *hydraulic* ini terdiri dari dua *cylinder hydraulic*. Dimana, *cylinder hydraulic* pertama berfungsi sebagai *absorber* dan *cylinder hydraulic*

kedua sebagai pendorong yang dihubungkan ke mekanisme *rack pinion* yang meneruskan gaya ke susunan gear pada HEMSA.

- Proses *compression*



Gambar 3 Skema mekanisme compression hydraulic pada RSA

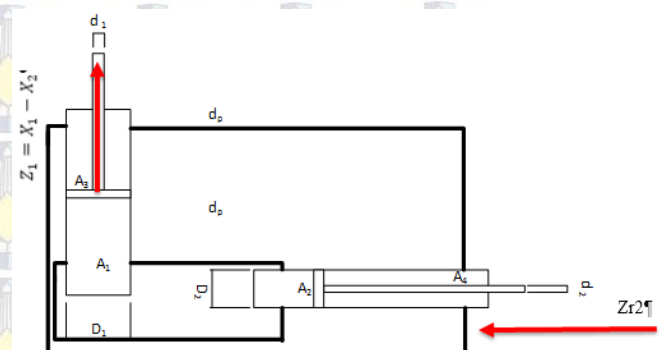
$$V_{compression 1} = V_{compression 2}$$

$$A_1 \times Z_{c1} = A_2 \times Z_{c2}$$

$$Z_{c2} = \frac{A_1}{A_2} \times Z_{c1}$$

$$Z_{c2} = \frac{A_1}{A_2} \times X_1 - X_2$$

- Proses *rebound*



Gambar 4 Skema mekanisme rebound hydraulic pada RSA

$$V_{rebound 1} = V_{rebound 2}$$

$$A_1 \times Z_{r1} = A_2 \times Z_{r2}$$

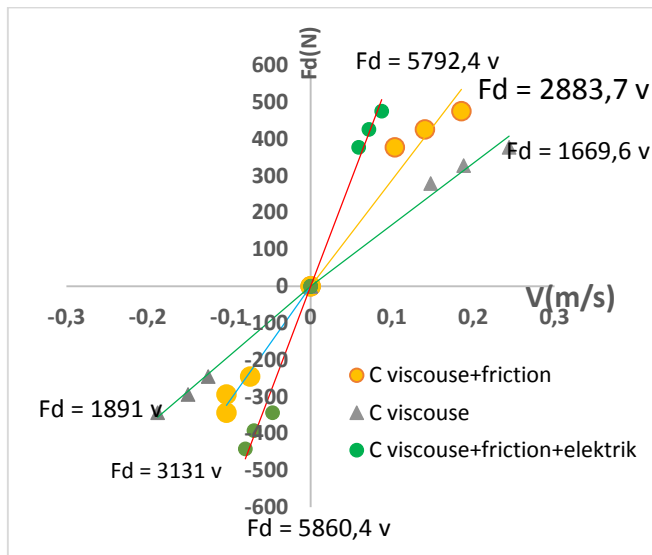
$$Z_{r2} = \frac{A_1}{A_2} \times Z_{r1}$$

$$Z_{r2}$$

$$= \frac{1}{4} \pi (d_{hydraulic\ piston\ 1}^2 - d_{hydraulic\ rod\ 1}^2) \times X_2$$

$$= \frac{1}{4} \pi (d_{hydraulic\ piston\ 2}^2 - d_{hydraulic\ rod\ 2}^2) \times X_1$$

Berikut grafik hasil pengujian gaya redaman *compression* dan *rebound* HEMSA tanpa pembebanan Listrik:



Gambar 5 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA tanpa pembebanan listrik

Pada gambar 4 bahwa terdapat nilai pada saat kompresi maupun pada saat rebound. Dari nilai tersebut kemudian dirata-rata. Sehingga, nilai konstanta redaman Hydraulic (viscous) adalah rata-rata dari kompresi dan rebound yaitu 1780,3 Ns/m. Kemudian, nilai konstanta redaman *viscouse* dan *friction* yaitu 3007,35 Ns/m. Dan, nilai konstanta redaman *viscouse*, *friction*, dan electrical generator yaitu 5826,4 Ns/m.

Berdasarkan rumus gaya redaman yaitu $F_d = C v$, dari rumus teoritis tersebut kita dapat mengetahui jika seiring bertambahnya Gaya Redama (F_d) maka kecepatan (v) juga naik, oleh sebab itu trendlinenya cenderung linier naik keatas. Selain itu dari persamaan torsi elektrik generator (T_e), yaitu $T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot i(t)$, dimana Torsi elektrik arah putarannya bersifat menghambat dari putaran alternator, hal ini disebabkan oleh nilai kuat medan magnet serta Rload yang digunakan.

- Distribusi Konstanta Redaman HEMSA tanpa pembebanan

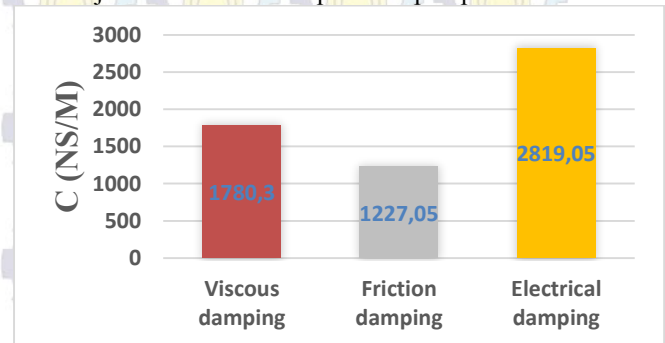
Berdasarkan pengujian gaya redaman untuk penentuan nilai konstanta redaman saat tidak terjadi pembebanan, maka data yang diperoleh untuk mengetahui nilai distribusi konstanta redaman dari masing-masing komponen viscouse damping, friction damping, dan electrical damping adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Tanpa Pembebanan Listrik		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1891	1669,6	1780,3
Viscous+Friction damping	2883,7	3131	3007,35
Friction damping	992,7	1461,4	1227,05
Electrical damping	2976,7	2661,4	2819,05
Total damping coefficient no load	5860,4	5792,4	5826,4

Dari table 2 di atas dapat kita lihat bahwa nilai pada Crebound HEMSA lebih besar daripada nilai pada Ccompression yaitu sebesar 5860,4 Ns/m. Untuk shock absorber yang dikatakan baik adalah apabila nilai konstanta redaman pada rebound tersebut lebih besar daripada compression. Nilai redaman pada rebound berfungsi apabila shock absorber mendapatkan suatu eksitasi baik impuls ataupun periodik, shock absorber

tersebut terkompresi sebesar 5792,4 Ns/m, kemudian meredam kembali seperti semula lebih besar sekitar 5860,4 Ns/m, sehingga penumpang hanya sedikit dapat merasakan guncangan dan nyaman dalam berkendara. Artinya, HEMSA dapat dikatakan baik untuk meredam kejutan akibat eksitasi impuls maupun periodik.

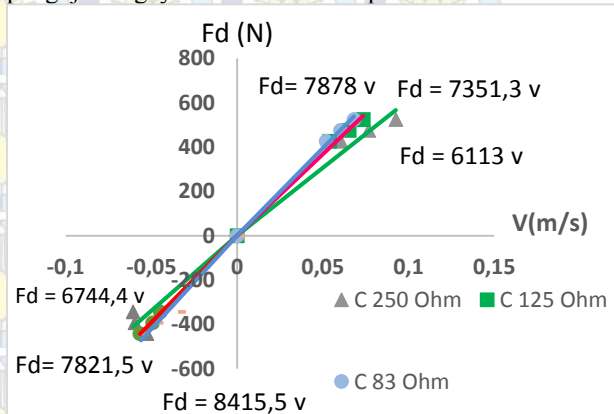


Gambar 5 Diagram Batang Distribusi Konstanta Redaman Komponen HEMSA

Dari tabel 2 dan gambar 5 di atas, bahwa distribusi konstanta redaman komponen hydraulic (viscous damping) dari HEMSA sebesar 1780,3 Ns/m. Pada komponen generator (electric damping) dari HEMSA sebesar 2819,05 Ns/m. komponen mechanic (friction damping) sebesar 1227,05 Ns/m. Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa kontribusi gaya redaman terbesar diberikan oleh komponen generator (electrical damping). Hal ini dipengaruhi oleh besar beban torsi electrical alternator serta pengaruh belt dan pulley yang terpasang pada generator.

b. Penentuan Konstanta HEMSA dengan Pembebanan Listrik

Pada pengujian dengan pembebanan Listrik, terdapat 3 variasi pembebanan listrik, yaitu : 3 buah lampu yang disusun secara paralel dimana masing-masing lampu telah diukur dan memiliki nilai hambatan (R) = 250 Ohm, sehingga nilai variasi pembebanannya adalah 83 Ohm, 125 Ohm, dan 250 Ohm. Berikut grafik hasil pengujian gaya redaman kompresi dan rebound:



Gambar 6 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pembebanan Listrik

Pada gambar 6 bahwa nilai konstanta redaman HEMSA pada saat beban terisi 83Ohm adalah rata-rata dari kompresi dan rebound yaitu **8146,75** Ns/m, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat beban 125Ohm adalah rata-rata dari kompresi dan rebound yaitu **7586,4** Ns/m, dan nilai konstanta redaman HEMSA pada saat

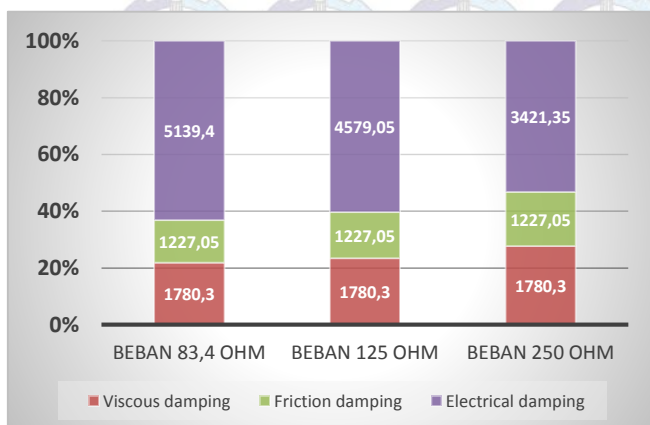
beban 250 Ohm adalah rata-rata dari kompresi dan rebound yaitu **6428,7** Ns/m.

- Distribusi Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Listrik

Dari beberapa pengujian gaya redaman untuk penentuan konstanta redaman Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA), maka diperoleh distribusi konstanta redaman dari masing-masing komponen HEMSA. Berikut berturut-turut tabel dan grafik distribusi konstanta redaman HEMSA:

Tabel 3 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA beban akumulator

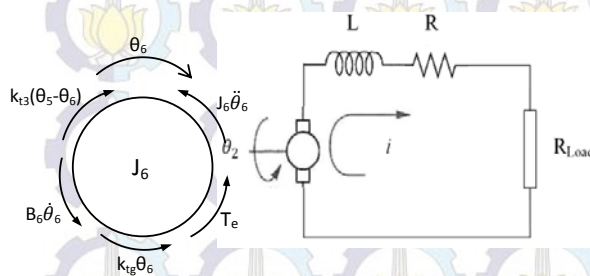
Nilai Redaman	Koefisien Redaman (N.s/m)		
	Beban 83 ohm	Beban 125 ohm	Beban 250 ohm
Viscous damping	2182,3	2182,3	2182,3
Friction damping	2436,15	2436,15	2436,15
Electrical damping	5139,4	7586,4	1227,05
Total damping	8146,75	7586,4	6428,7



Gambar 7 Diagram batang distribusi nilai konstanta redaman HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* dengan variasi pembebanan akumulator

Dari bar chart HEMSA gambar 7 pada variasi pembebanan (R) = 83, 125, dan 250 Ohm dapat kita lihat untuk *viscouse damping* yaitu 1780,3 Ns/m dan *friction damping* yaitu 1227,05 Ns/m, tetapi untuk nilai *electrical damping* berbeda-beda, dapat kita lihat untuk R 83 Ohm = 5139,4 Ns/m, R 125 Ohm = 4579,05 Ns/m, R 250 Ohm 3421,35 Ns/m, hal ini berarti semakin bertambahnya beban, maka nilai distribusi konstanta redamannya (C) semakin kecil.

Berdasarkan teori kelistrikan dimana komponen yang langsung berhubungan dengan beban listrik yaitu generator, dimana untuk Free Body Diagram dari generator listrik adalah sebagai berikut:



Gambar 8 (a) FBD Generator DC (J_6) dan (b) FBD sistem elektrik

Dari gambar 8 di atas dibuat menjadi bentuk persamaan matematis untuk mendapatkan nilai arus listrik sebagai berikut:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + R_{Load}i = 2NBla\dot{\theta}_6 = e(t)$$

Persamaan matematis yang menggantikan nilai Torsi Elektrik (T_e) pada generator adalah:

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot i(t)$$

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot \left(\frac{2NBla\dot{\theta}_6 - Li}{R + R_{load}} \right)$$

Dimana Torsi Elektrik (T_e) adalah torsi yang arahnya berlawanan dengan arah putaran generator sehingga akibat adanya torsi elektrik ini menimbulkan beban atau nilai konstanta redaman (C) sesuai dengan nilai pembebanan.

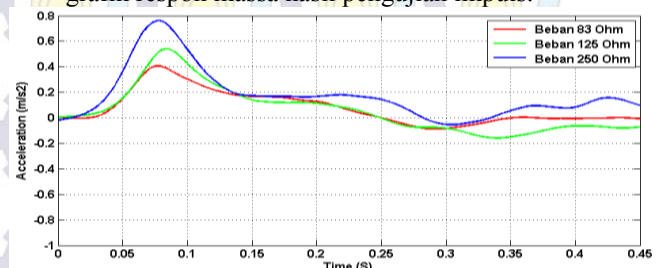
Dapat kita simpulkan berdasarkan grafik aktual dan teori kelistrikan pada generator dimana karena pengaruh dari variasi pembebanan untuk masing-masing nilai resistansi (R_{load}) yaitu $R = 83$, 125, dan 250 Ohm berdasarkan rumusan dari Torsi elektrik (T_e) diatas bila nilai R_{load} besar maka T_e kecil, dan jika nilai R_{load} kecil, maka T_e besar. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai resistansi (R_{load}) maka semakin besar nilai torsi elektriknya (T_e), sehingga beban generator juga semakin besar. Oleh sebab itu nilai konstanta redaman (C) juga semakin besar seiring dengan berkurangnya beban Listriknya (R_{load}).

C. Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA

Pada tahap pengujian ini, pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon massa dan energi bangkitan HEMSA akibat eksitasi Impuls dan Periodik pada pembebanan 83, 125, dan 250 Ohm Eksitasi Impuls

a. Eksitasi impuls

Pengujian karakteristik suspensi HEMSA akibat ekstasi impuls bertujuan untuk mengetahui respon massa secara transient. Eksitasi impuls merupakan suatu gambaran profil jalan berupa bump. Berikut adalah grafik respon massa hasil pengujian impuls:



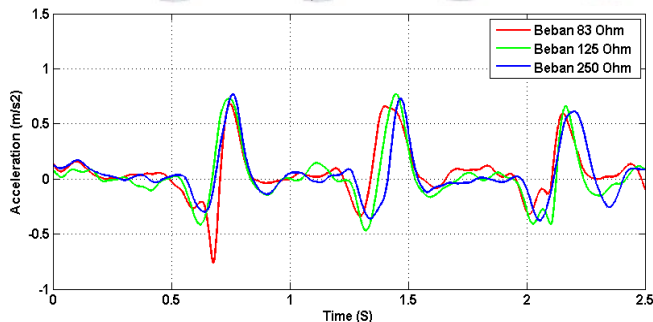
Gambar 8 Grafik respon *sprung mass* pengujian impuls

Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.16 di atas menunjukkan bahwa percepatan *peak* HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: 0.74 m/s², 0.52 m/s², dan 0.39 m/s². Dan damping ratio (ζ) HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: 0,97; 1,14; dan 1,22.

HEMSA pada saat beban 83 Ohm memiliki nilai percepatan terendah dibandingkan dengan yang lain. Untuk beban 83 Ohm mengalami keadaan stabil pada 0,12s, kemudian pada beban 125 ohm mulai stabil pada 0,13s, sedangkan untuk beban 250 ohm mulai stabil pada 0,16s. Secara teori semakin tinggi nilai damping ratio, mendekati 1, semakin cepat waktu sistem suspensi untuk stabil. Dari hasil pengujian eksitasi Impuls menunjukkan kesesuaian dengan teori.

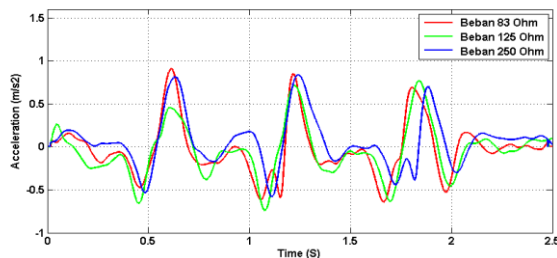
b. Eksitasi Periodik

- Periodik frekuensi 1,4 Hz



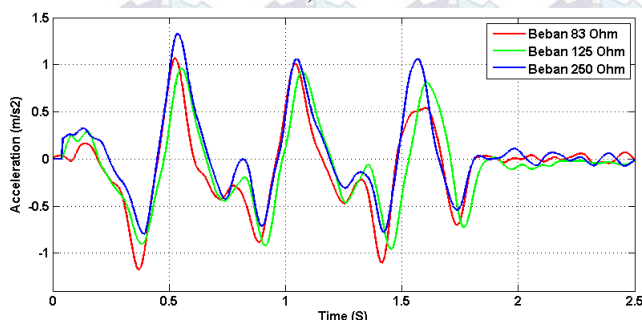
Gambar 9 Grafik respon *sprung mass* eksitasi periodik 1,4 Hz dengan pembebanan listrik

- Periodik frekuensi 1,7 Hz



Gambar 10 Grafik respon *sprung mass* eksitasi periodik 1,7 Hz dengan pembebanan listrik

- Periodik frekuensi 2,2 Hz



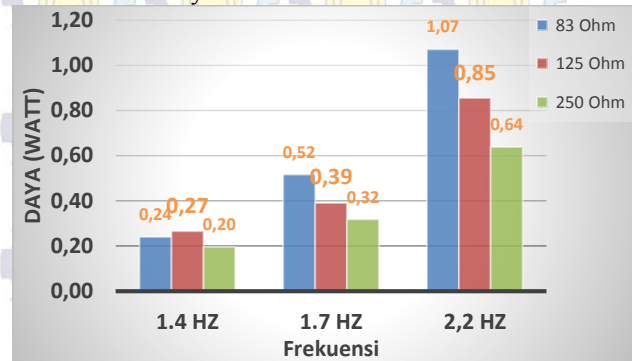
Gambar 11 Grafik respon *sprung mass* eksitasi periodik 2,2 Hz dengan pembebanan listrik

Hasil pada grafik eksitasi periodik di atas berpengaruh terhadap kenyamanan penumpang, pada pengujian ini hasil dari grafik tersebut didapatkan rms percepatan pada masing-masing shock absorber, dan kemudian dihubungkan dengan standar ISO 2631 kenyamanan pengendara.

D. Pengujian Energi Bangkitan HEMSA

Pengujian energi bangkitan pada HEMSA dilakukan pada eksitasi periodik dimana yang diukur adalah voltase dan arus listrik. Penggunaan beban listrik

berupa 3 buah lampu yang disusun secara paralel dimana nilai masing-masing bohlam lampu adalah (250 Ohm), sehingga didapat nilai bebannya masing-masing 83, 125, dan 250 Ohm. Voltase diukur dengan *oscilloscope* dan Arus listrik diukur dengan AVO meter digital. Berikut adalah hasilnya:



Gambar 12 Diagram batang energi bangkitan HEMSA eksitasi periodik 1,4 Hz, 1,7 Hz, 2,2 Hz

Dari diagram diatas energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA untuk frekuensi 1,4Hz pada 83 ohm = 0,24 watt; 125 ohm= 0,27 watt; 250 ohm=0,20 watt; untuk frekuensi 1,7Hz pada 83 ohm = 0,52 watt; 125 ohm= 0,39 watt; 250 ohm=0,32 watt; untuk frekuensi 2,2Hz pada 83 ohm = 1,07 watt; 125 ohm= 0,85 watt; 250 ohm=0,64 watt.

Dari diagram batang diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai frekuensi eksitasi maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Untuk masing-masing variasi pembebanan khususnya pada frekuensi 1,7Hz dan 2,2 Hz, dapat kita lihat bahwa semakin besar nilai beban listrik (R), maka semakin kecil daya yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan beban listrik yang semakin besar mempengaruhi nilai dari Torsi elektrik (Te), dimana nilai torsi elektrik ini berlawanan dengan arah putaran generator yang sifatnya sebagai penghambat sehingga arus yang dihasilkan kecil. Oleh karena itu daya yang dihasilkan juga semakin kecil. tetapi pada frekuensi 1,4Hz dapat kita lihat khususnya pada pembebanan 83 Ohm, seharusnya nilai dayanya lebih tinggi dari pembebanan yang lain, hal ini berbeda dengan teori karena kesalahan pembacaan data di alat ukur AVO meter yang digunakan untuk mengukur arus listrik.

Hubungan antara nilai konstanta redaman (C) dengan daya yang dihasilkan, dimana nilai konstanta redaman pada tabel 4. 19 perbandingan gaya redaman untuk masing-masing pembebanan listrik dimana nilai R-load yang paling kecil 83 Ohm nilai konstanta redamannya (C) paling besar yaitu 8146,5 Ns/m memiliki daya listrik yang paling besar, kemudian pada beban listrik 250 Ohm memiliki konstanta redaman (C) 6428,7 Ns/m memiliki daya terkecil. Jadi semakin tinggi nilai beban listrik (R), maka semakin kecil nilai konstanta redaman (C), dan semakin kecil daya listrik yang dihasilkan (P).

E. Performa Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber

a. Efisiensi

Dengan pengujian periodik pada HEMSA, kita dapat membandingkan performa dari variasi pembebanan untuk masing-masing frekuensi dengan menghitung nilai efisiensi dari HEMSA *double port*, dengan

membandingkan *power output* (P_o) terhadap *power input* (P_i). *Power input* (P_i) merupakan energi yang timbul akibat dari gaya redaman dikalikan kecepatan relatif sistem suspensi. $P_i = \int Fd \, dz$, dimana Fd adalah gaya redaman, dan z adalah kecepatan relatif antara *base exciter* dengan *sprung mass*.

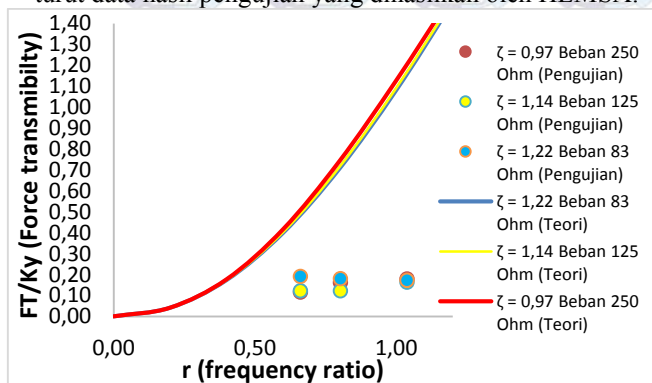


Gambar 13 Grafik efisiensi performa HEMSA pembebanan listrik

Dari gambar 4.25 dapat kita lihat bahwa *trendline* efisiensi performa HEMSA untuk frekuensi 1,7Hz dan 2,2Hz cenderung turun akibat penambahan beban listrik dari 83, 125, dan 250 Ohm. Sedangkan untuk frekuensi 1,4Hz nilai effisiensinya berfluktuasi, tetapi nilai effisiensinya paling bawah jika dibandingkan dengan frekuensi 1,7Hz dan 2,2Hz, *trendline* yang fluktuatif ini disebabkan karena alat ukur yang digunakan kurang akurat, khususnya pada saat pengukuran $f=1,4$ Hz pada beban 83 Ohm. Disamping itu rendahnya efisiensi yang dihasilkan oleh HEMSA secara keseluruhan dikarenakan banyaknya kehilangan-kehilangan pada tiap-tiap komponen HEMSA. Misalnya pada dalam bentuk Losses, gesekan dan pembacaan alat ukur yang tidak akurat.

b. Transmissibilitas HEMSA

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi impuls dan periodik. Dapat kita bandingkan performa dari masing-masing alat tersebut dengan menggunakan grafik *force transmissibility* terhadap *ratio frekuensi*, data yang kita dapatkan dari hasil pengujian dituangkan kedalam grafik. Berikut berturut-turut data hasil pengujian yang dihasilkan oleh HEMSA:



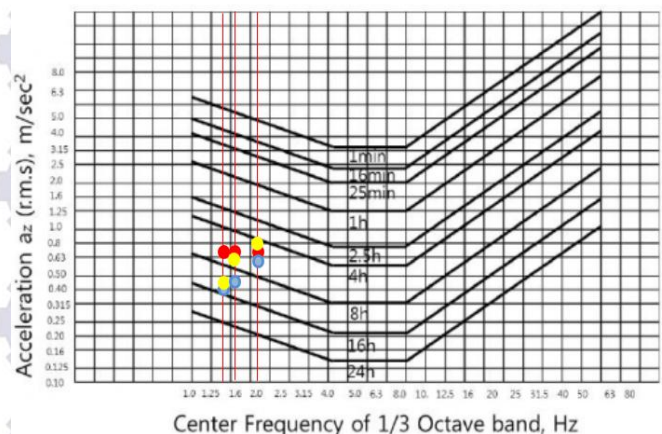
Gambar 14 Grafik *force transmissibility* (F_t/kY) versus *frequency ratio* (r)

Dari hasil grafik pada gambar 14 diatas menunjukkan hubungan antara *force transmissibility* (F_t) dengan *frequency ratio* (r). Dari 3 titik *Ratio frequency* (r) yaitu

pada saat $r = 0,66$, $r = 0,8$ dan $r = 1,04$ kemudian dihubungkan dengan *force transmissibility* yang dicari dari data percobaan dan teoritis. Dapat dilihat dari grafik di atas, *trendline* secara teoritis nilai *force transmissibility* meningkat seiring bertambahnya *frequency ratio* di setiap *damping ratio*. Sedangkan dari hasil eksperimen (percobaan) mengalami fluktuatif namun nilainya tidak begitu berubah besar. *Trendline* pada $\zeta = 1,22$ R 83 Ohm mengalami penurunan saat $r = 0,66$ menuju $r = 0,8$ kemudian turun kembali pada $r = 1,04$. Lalu $\zeta = 1,14$ R 125 Ohm nilainya tetap saat $r = 0,66$ dan $r = 0,8$ kemudian naik pada $r = 1,04$. Namun pada $\zeta = 0,97$ R 250 Ohm mengalami kenaikan saat $r = 0,66$ ke $r = 0,8$ dan mengalami kenaikan kembali pada saat titik 1,04. Dari kondisi ketiga kondisi titik diatas cenderung berhimpit pada satu titik, karena memang garis teori berhimpit (bertemu pada satu titik) pada $r = 0,66$ dan $0,88$ namun pada 1,04 memang terjadi perbedaan secara teori maupun aktual.

Dari fenomena grafik hasil perhitungan *Force Transmissibility*, perhitungan percobaan dengan teori jauh dibawah daerah garis teori. Hal ini dikarenakan plot dari rumus grafik *force transmissibility* secara teori hanya untuk *viscouse damping*, sedangkan pada alat HEMSA terdapat *friction damping*, dan *electrical damping*.

c. ISO 2631 Kenyamanan Penumpang



Gambar 15 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik. (merah) 83 ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning) 250 Ohm.

Dari keseluruhan variasi Listrik, Dari grafik kenyamanan penumpang standart ISO 2631, dari keseluruhan variasi pembebanan Listrik, penumpang mampu menerima guncangan dalam rentan waktu 5 jam s/d 15 jam

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil eksperimen pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai konstanta pegas dari hasil pengujian yang digunakan untuk HEMSA adalah sebesar 44357.5 N/m.
2. Nilai konstanta redaman HEMSA *double port* tanpa pembebanan sebesar 5826,4 Ns/m. Dengan nilai *compression* sebesar 5792,4 Ns/m dan *rebound* sebesar 5860,4 Ns/m. Ini berarti HEMSA *double port* dapat dikatakan baik untuk meredam kejutan akibat eksitasi impuls dan periodik.

3. Nilai konstanta redaman HEMSA *double port* pembebanan listrik. Pada saat beban 83 Ohm sebesar 8146,75 N.s/m, Pada saat beban 125 Ohm sebesar 7586,4 Ns/m, Pada saat beban 250 Ohm sebesar 6428,7 Ns/m. Artinya, semakin semakin besar nilai pembebanannya maka nilai konstanta redamannya semakin kecil.
4. Pada pengujian Impuls, nilai percepatan *peak* HEMSA pada saat pembebanan 83, 125, dan 250 Ohm berturut-turut sebesar: 0.39 m/s², 0.52 m/s², dan 0.74 m/s².
5. Energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA untuk frekuensi 1,4Hz pada 83 ohm = 0,24 watt; 125 ohm = 0,27 watt; 250 ohm = 0,20 watt; untuk frekuensi 1,7Hz pada 83 ohm = 0,52 watt; 125 ohm = 0,39 watt; 250 ohm = 0,32 watt; untuk frekuensi 2,2Hz pada 83 ohm = 1,07 watt; 125 ohm = 0,85 watt; 250 ohm = 0,64 watt. Semakin besar nilai dari beban listriknya (R), maka daya yang dihasilkan semakin kecil. Dan semakin besar frekuensinya maka daya yang dihasilkan semakin besar
6. Dari grafik kenyamanan penumpang standart ISO 2631, dari keseluruhan variasi pembebanan Listrik, penumpang mampu menerima guncangan dalam rentan waktu 5 jam s/d 15 jam
7. Nilai efisiensi HEMSA pada frekuensi 1,4Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 1,88%, 2,23%, dan 1,94%. Kemudian pada frekuensi 1,7Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 2,74%, 2,23%, dan 2,14%. Selanjutnya pada frekuensi 2,2Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 3,39%, 2,91%, dan 2,57%. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi HEMSA tertinggi pada frekuensi 2,2Hz pada pembebanan 83 Ohm

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis, Adityo Putranto, mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan pembahas yang telah memberikan kritik dan saran untuk penulisan artikel ini. Penulis Juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar penulis yang memberikan dukungan baik secara moral dan finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. "Hybrid Vehicle". university of tennssee chattanooga, [online], (<http://www.utc.edu/college-engineering-computer-science/research-centers/cete/hybrid.php>, diakses tanggal 05/04/2014)
- Anderson, Zack. "energy-harvesting shock absorbers". Massachusetts Institute of Technology, [online], (<http://web.mit.edu/newsoffice/2009/shock-absorbers-0209.html>, diakses tanggal 05/04/2014)
- Bart L.J. Gysen dkk. 2010. *Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dyamics*, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- Deanandya, 2014. *Pemodelan Dan Analisis Respon Dinamis Regenerative Shock Absorber (Rsa) Hidraulis Mekanis Elektromagnetik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- ESDM (2012) *Indonesia Energy Statistic* http://psdgbgl.esdm.go.id/kepmen_pp_uu/blueprint_PEN.pdf

Laksana Guntur, Harus. 2013. *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. JSME Journal of System Design and Dynamics.

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT., *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia.

S. Rao, Singiresu. 2004 *Mechanical Vibration*. Prentice Hall PTR. Singapore.

Sareza Hafis, ST. 2013. *Studi Eksperimental Perbandingan Karakteristik Antara Konvensional Shock Absorber Dengan Regenerative Shock Absorber (RSA)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Zuo, Lei dkk. 2010. *Design And Characterization Of An Electromagnetic Energy Harvester For Vehicle Suspension*. New York State University, USA. tennssee chattanooga, [online], (<http://www.utc.edu/college-engineering-computer-science/research-centers/cete/hybrid.php>, diakses tanggal 05/04/2014)